

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОСФИДОВ $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}$ РАЗЛИЧНОЙ МОРФОЛОГИИ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ЖЕЛЕЗНОГО МЕТЕОРИТА СИХОТЭ-АЛИНЬ

Ларионов М.Ю.

Руководители – доц., к.т.н. Гроховский В.И.,

гл.н.с., д.ф-м.н. Оштрах М.И.

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,
lmur2000@rambler.ru

В железных метеоритах железоникелевый фосфид является примесной фазой, среднее содержание которой лишь в некоторых метеоритах достигает нескольких процентов. Известны несколько морфологических типов фосфидов, обусловленных различными видами фазовых превращений в сплавах внеземного происхождения. К первому типу относят редкие массивные (от 100 мкм до нескольких сантиметров) кристаллические выделения $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}$ в $\alpha\text{-Fe(Ni,Co)}$, гетерогенно сформировавшиеся при распаде пересыщенного твердого раствора $\gamma\text{-Fe(Ni,Co)}$ с температурой выше 850 °С. Эти кристаллы получили название «шрейберзит». Ко второму типу относят однородные микрокристаллы фосфидов размером 20...50 мкм, образованные путем гомогенного зарождения в $\alpha\text{-Fe(Ni,Co)}$ при температурах ниже 600 °С. Эти микрокристаллы получили название «рабдит».

Образцы рабдита и шрейберзита были выделены из железного метеорита Сихотэ-Алинь ПАВ электрохимически путем растворения матрицы $\alpha\text{-Fe(Ni,Co)}$. Микрофотографии рабдита и шрейберзита, полученные на электронном микроскопе JEOL JSM-6490LV Центра коллективного пользования УрФУ, показаны на рис. 1.

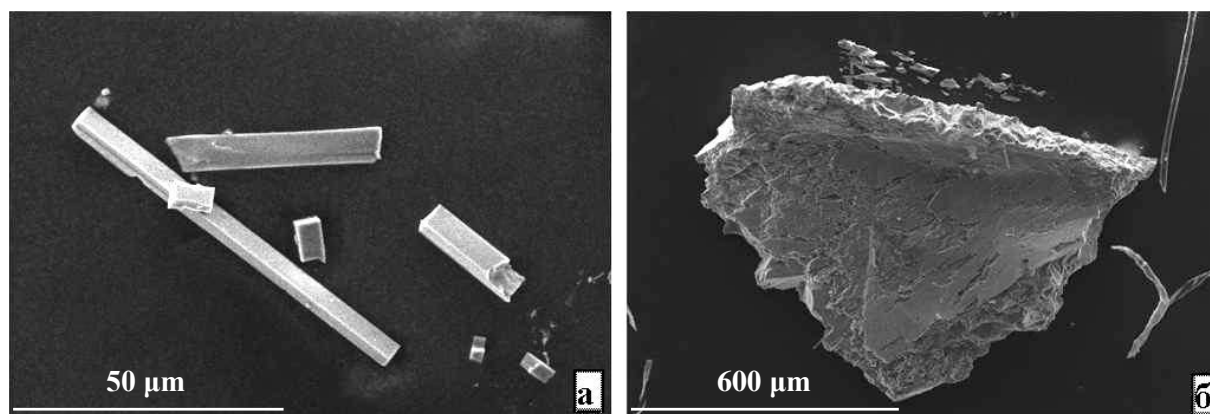


Рисунок 1. Электронномикроскопические изображения рабдита (а) и шрейберзита (б)

Установлено, что химический состав выделенных фосфидных кристаллов из железного метеорита Сихотэ-Алинь ПАВ соответствует стехиометрическим формулам: рабдит – $\text{Fe}_{1,56}\text{Ni}_{1,44}\text{P}$ и шрейберзит – $\text{Fe}_{1,92}\text{Ni}_{1,08}\text{P}$. Анализ кристаллической структуры фосфидов на дифрактометре STADI-P показал, что оба фосфида имеют тетрагональную кристаллическую структуру *I*-4, но существует различие в параметрах элементарных ячеек рабдита и шрейберзита: $a = 9,029(3) \text{ \AA}$, $c = 4,461(5) \text{ \AA}$ и $a = 9,049(8) \text{ \AA}$, $c = 4,461(8) \text{ \AA}$, соответственно. Исследование магнитных свойств рабдита и шрейберзита на магнетометре MPMS-5XL в диапазоне температур 2...400 К показало, что шрейберзит и рабдит являются сильными ферромагнетиками. Однако температуры Кюри у них различны: для рабдита температура Кюри составляет 345 К, в то время как для шрейберзита она выше 400 К [1].

Также обнаружено отличие мессбауэровских спектров шрейберзита и рабдита, измеренных на прецизионном мессбауэровском спектрометрическом комплексе с высоким скоростным разрешением [2] при температурах 295 и 90 К (рис. 2).

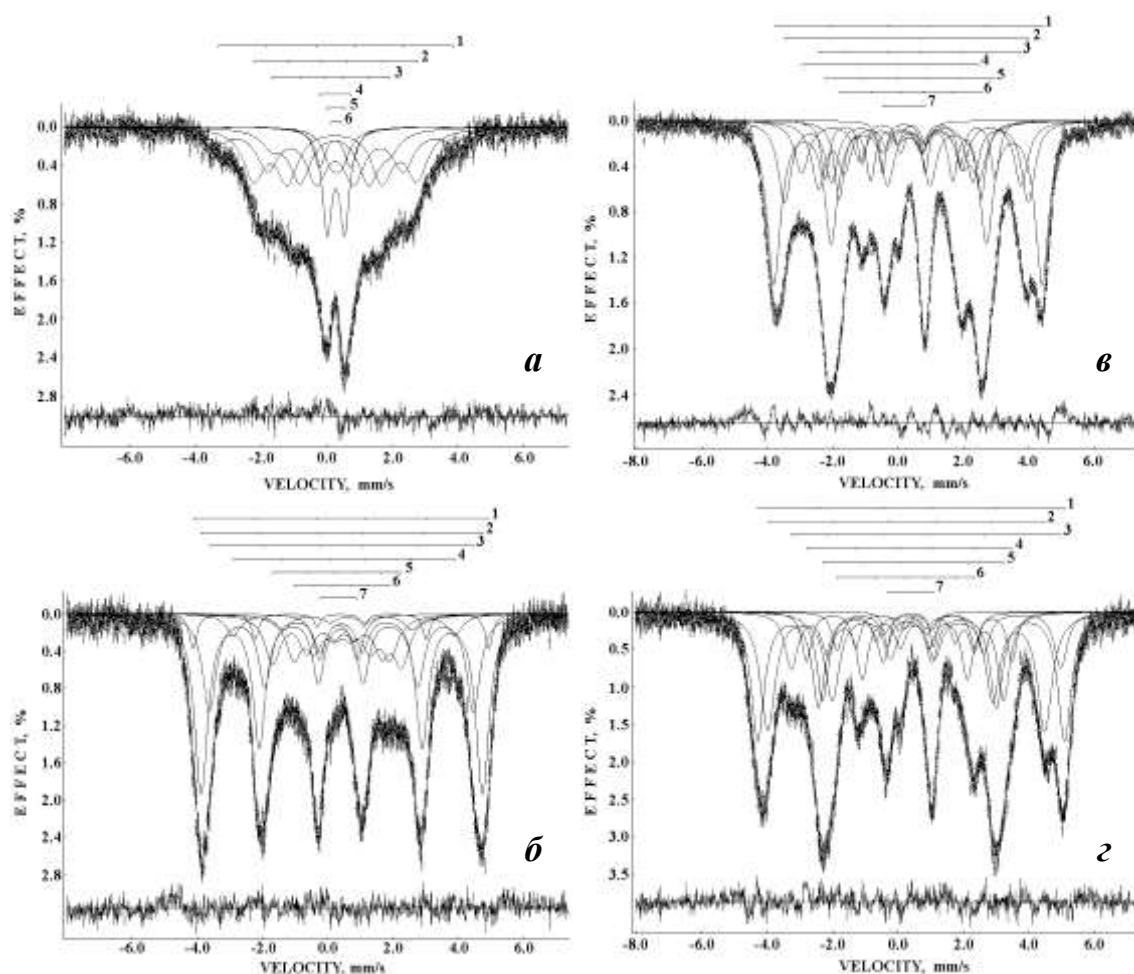


Рисунок 2. Мессбауэровские спектры рабдита (а, б) и шрейберзита (в, г).
 $T = 295 \text{ К}$ (а, в), $T = 90 \text{ К}$ (б, г)

Мессбауэровский спектр рабдита, измеренный при 295 К, имеет вид, характерный для суперпарамагнитного состояния, при котором сосуществуют парамагнитные (квадрупольные дублеты) и ферромагнитные фазы (магнитные секстеты) ниже температуры Кюри. Суперпарамагнетизм рабдита, очевидно, связан с малыми размерами его кристаллов. При понижении температуры до 90 К в мессбауэровских спектрах рабдита существенно уменьшается доля парамагнитной фазы и увеличивается вклад магнитных секстетов. Мессбауэровские спектры шрейберзита при 295 и 90 К представляет собой суперпозицию нескольких магнитных секстетов и небольшого квадрупольного дублета, который, вероятнее всего, относится к примеси. Сложный суперпозиционный характер мессбауэровских спектров рабдита и шрейберзита может быть связан с распределением Fe и Ni по кристаллографически неэквивалентным позициям M1, M2 и M3 в тетрагональной решетке (Fe,Ni)₃P. В соответствии с моделью, предложенной в [3], мессбауэровские спектры рабдита (ниже 295 К) и шрейберзита (295 и 90 К) были аппроксимированы суперпозицией шести магнитных секстетов и одного квадрупольного дублета, которые были соотнесены с ядрами ⁵⁷Fe в позициях M1, M2 и M3 [4]. На основании полученных данных было показано, что распределение ионов Fe и Ni по позициям M1, M2 и M3 отличается для рабдита и шрейберзита.

Проведенное исследование различными физическими методами рабдита и шрейберзита, выделенных из железного метеорита Сихотэ-Алинь, показывает отличие параметров кристаллической ячейки, температуры Кюри и мессбауэровских параметров двух фосфидов. Эти отличия могут быть следствием разных условий формирования шрейберзита и рабдита, их размеров и разного относительного содержания Fe и Ni в них.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Кадры» НК-605П_19 № П1154.

Используемые литературные источники:

1. Oshtrakh M.I., Larionov M.Yu., Grokhovsky V.I., Semionkin V.A. Study of iron meteorite Sikhote-Alin and extracted iron-nickel phosphides using Mössbauer spectroscopy with high velocity resolution. *Hyperfine Interact.* 186 (2008) 53.
2. Semionkin V.A., Oshtrakh M.I., Milder O.B., Novikov E.G. A High Velocity Resolution Mössbauer Spectrometric System for Biomedical Research. *Bull. Rus. Acad. Sci.: Phys.* 74 (2010) 416.
3. Lisher E.J., Wilkinson C., Ericsson T., Haggstrom L., Lundgren L., Wappling R. Studies of the magnetic structure of Fe₃P. *J. Phys. C: Solid State Phys.* 7 (1974) 1344.
4. Oshtrakh M.I., Larionov M.Yu., Grokhovsky V.I., Semionkin V.A. An Analysis of Fe and Ni Distribution in M1, M2 and M3 Sites of Iron Nickel Phosphides Extracted from Sikhote-Alin Meteorite Using Mössbauer Spectroscopy with a High Velocity Resolution. *J. Mol. Struct.*, DOI: 10.1016/j.molstruc.2010.09.041.